第 37 卷第 11 期 2017 年 6 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.11 Jun.,2017

DOI: 10.5846/stxb201606261255

高志成,田佳妮,霍艳双,舒锴,宝音陶格涛.切根和浅耕翻措施对退化草地生长季土壤性质及植物群落的影响.生态学报,2017,37(11):3824-3829.

Gao Z C, Tian J N, Huo Y S, Shu K, Baoyin Taogetao.Effects of root pruning and shallow plowing on soil properties and plant communities in deteriorated steppe.Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3824-3829.

切根和浅耕翻措施对退化草地生长季土壤性质及植物群落的影响

高志成[1],田佳妮[2],霍艳双[1],舒 锴[1],宝音陶格涛[1,*]

1 内蒙古大学生命科学学院,呼和浩特 010021

2 中国常驻联合国粮农机构代表处,罗马 00144

摘要:草地退化是我国主要生态问题之一,研究草地不同改良措施的生态效应对于科学有效地恢复草地生态系统具有重要意义。以切根、浅耕翻两种典型改良措施为对象,在内蒙古锡林郭勒盟毛登草原内蒙古大学生态学研究基地研究了两种改良措施对土壤硝化速率、羊草群落植物生物多样性和生物量的影响。结果表明:与对照相比,浅耕翻措施显著降低了土壤硝化速率(P<0.05),切根措施对土壤硝化速率有提高效果,且土壤硝化速率呈现出明显的时间动态,土壤硝化速率 6 月份显著最高、9 月份显著最低;浅耕翻措施显著降低了羊草群落植物多样性和生物量(P<0.05),而切根处理则显著提高了羊草群落植物多样性(P<0.05),切根处理对植物生物量提高有作用但效果不显著。研究结果表明不同草地恢复措施显著影响了土壤性质和植物群落,在短期内,浅耕翻措施不是草地恢复的有效措施,而切根处理有助于提高退化草地生物多样性。

关键词:退化草地;硝态氮;矿化速率;生物量;生物多样性

Effects of root pruning and shallow plowing on soil properties and plant communities in deteriorated steppe

GAO Zhicheng[1], TIAN Jiani[2], HUO Yanshuang[1], SHU Kai[1], BAOYIN Taogetao[1,*]

1 *School of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot* 010021, *China*

2 *Permanent Representation of the People's Republic of China to the UN Agencies for Food and Agriculture, Via degli Urali* 12, *Rome* 00144, *Italy*

Abstract: Grassland degradation is one of the main ecological problems in the arid and semi-arid areas of China. Nitrogen content, which is typically reflected by the mineralization rate of soil nitrate nitrogen, plays a very significant role in plant life in deteriorated steppe regions. The key to addressing the limitation of soil nitrogen content is determining how to increase the exchange speed of soil nitrate nitrogen mineralization using different ameliorative treatments. Furthermore, biomass, the accumulation of organic matter per unit leaf area, is also a vital evaluation factor for primary productivity. Species diversity, the index of which generally increases with an increase of biomass, is an indicator of ecosystem stability. The species diversity of deteriorated steppe communities reflects the restoration status of grassland and changes in soil physical and chemical properties. The aim of the present study was to provide a scientific basis for the development of deteriorated steppe restoration by determining the effective use of different ameliorative treatments. In this regard, we examined the effects of two typical ameliorative treatments, namely, shallow plowing and root pruning of deteriorated grassland, in Inner Mongolia in order to determine the effects of different treatments on soil properties (the mineralization rate of soil nitrate nitrogen)

基金项目:国家自然科学基金(31160138);内蒙古自然科学基金重大项目(2015ZD05)

收稿日期:2016-06-26; **网络出版日期**:2016-08-26

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: bytgtnm@ 126.com

and the character of *Leymus chinensis* communities (biomass and biodiversity). The data was obtained at the research base of the School of Life Science, Inner Mongolia University of Mao Deng grassland, Xilin Gol, Inner Mongolia. The research focused on the relationship between different treatments and biodiversity, biomass, and the mineralization rate of soil nitrate nitrogen. Compared with the control treatment, our results indicate that the mineralization rate of soil nitrate nitrogen was reduced by shallow plowing ($P < 0.05$). This might be attributable to changes in soil structure and the natural habitat of most plant caused by shallow plowing, which often causes marked disturbance to the soil in the first and second years after plowing. The mineralization rate of soil nitrate nitrogen was increased by root pruning but the effect was not significant. This might be due to the reduction in certain species whose growth requires a high content of nitrite nitrogen, although the total biomass increased. The mineralization rate of soil nitrate nitrogen differed according to the time of year. The lowest nitrification rate was in June, whereas the highest was in September. Shallow plowing significantly reduced the diversity and biomass of the *L. chinensis* community, whereas root pruning significantly increased the diversity of this community ($P < 0.05$). This is because the growth of annuals is more rapid in seasons with high precipitation. Root pruning reduced the competition between short-lived plants and other plants. Accordingly, annuals could grow very well and increased in number. This might be closely related to the increase in biomass. Although the biomass of the *L. chinensis* community was incr eased by root pruning, the difference was not significant. The data show that different treatments have a marked impact on soil properties and biota. Furthermore, root pruning treatment, but not shallow plowing, contributes to the biodiversity of deteriorated steppe in the short term.

Key Words: deteriorated grassland; nitrate nitrogen; mineralization rate; biomass; biodiversity

我国五大草原中面积最大的为内蒙古草原,占地面积约 8666.7 万 hm^2,是内蒙古最主要的资源之一。但是由于过度人工利用如过度放牧、刈割等,目前内蒙古许多地区草地退化严重,退化草地面积已经占全内蒙古草地面积的三分之一[1],因此退化草地的改良就变得尤为迫切。目前关于退化草地改良措施中的围栏封育处理、施肥处理、浅耕翻处理的相关研究已经很多,大多处理都能改善草地的退化程度[2]。而关于切根处理对于退化草地改良效果的研究并不详尽。最新的研究表明,切根处理有利于草地的自我恢复及演替[3],但对于这些处理的生态效应的比较研究开展较少。

氮素是植物生长发育繁殖的必需元素,是草地植被生长极为重要的养分限制因子。土壤中本身就含有氮素,这些氮素主要由有机态氮和矿质氮即无机氮组成,其中,无机氮的含量在土壤中仅占 1%—4%,而土壤供给植被生长的氮素主要以 NH_4^+-N 和 NO_3^--N,即铵态氮和硝态氮等无机氮的形式存在[4]。由于退化羊草草地土壤中硝态氮的含量显著高于铵态氮的含量,且铵态氮在退化草地土壤中大部分通过硝化作用转换为硝态氮,因此研究土壤中氮素的矿化尤其是硝态氮的矿化对提高氮肥的利用率、土壤氮素矿化能力以及防止过多氮素流失等就有着重要的意义[5]。Michael D R 等研究表明土壤中硝态氮的矿化速率对于不同的改良措施有不同的响应[6]。此外,植被生物量是单位面积有机质的积累数量,是生态系统物质循环、能量流动功能的重要表现,也是描述第一性生产的重要概念以及草地质量衡量的重要评价因子。物种多样性是生态系统环境稳定的重要标志,草地群落物种多样性能从侧面反映草地的恢复状况以及土壤理化性质的变化情况。

本研究以内蒙古草原两种典型退化草地改良方式切根处理和浅耕翻处理为对象,研究这两种处理对土壤性质(硝态氮矿化速率)和植物群落(植物多样性和生物量)的影响。其目标是:探明不同改良措施对土壤性质和植物群落组成的影响,明确退化草地改良的有效途径,为科学开展退化草地恢复提供科学依据。

1　研究地点与方法

1.1　试验样地及环境

本实验选取的样地位于内蒙古锡林郭勒盟毛登牧场内蒙古大学草地生态学研究基地,地理位置 44°10′ N、

116°28′ E。本区大陆性气候明显,属于温带草原半干旱气候。据气象部门数据统计,年平均温度为-0.4℃,最冷月(1月)平均温度为-22.5℃,最热月(7月)平均温度为18.8℃。年降水量在300—400 mm之间且不同年份差异较大。丰水年与干旱年的降水量分别为500、160 mm。全年约70%的降水量集中于6—8月。年蒸发量约1700 mm。主要植被为因过度放牧而导致的羊草草原退化变体,即含小叶锦鸡儿(*Caragana microfeila*)灌丛的冷蒿(*Artemisia frigida*)+丛生小禾草+羊草群落。小区内为不同处理下的退化羊草草地群落。小区面积为25 m×50 m,隔离带面积为5 m×50 m。

1.2　退化羊草草原改良措施方案

本实验中不同改良措施处理由切根处理、浅耕翻处理、对照3部分组成。其中切根时间为2015年6月30日—7月4日,使用器材为9QP-830型盘齿式草地破土切根机,切根深12 cm。浅耕翻具体时间为2015年6月28日—6月29日用四铧犁耕翻并在次年进行了一次耙地处理,深度18—20 cm。

1.3　取样与测定分析方法

大量土壤氮素矿化的研究资料显示,土壤氮素含量及矿化量的估算方法大致有4种,分别为原位培养法、化学法、植物吸收法和模型构建法[7]。化学法较难测定微量氮素,植物吸收法受外界环境干扰较大,容易造成误差。模型构建法比较费时。原位培养法适用于干旱半干旱地区的土壤氮矿化量、矿化速率的研究,与实验区环境相符,是本实验理想的氮素矿化测定方法。原位培养法又包含顶盖埋管法、离子交换法、树脂芯法、以及应用较早的埋袋法等。顶盖埋管法和树脂芯法是当前使用最为广泛的两种研究方法,它们的优点是能尽可能缩小或者避免淋溶的影响,使土壤中自由水、结合水及土壤机械组成得到很好的保持,且处理耗时、成本较少,得到的数据精确度较高,适合雨季或者草原返青季氮素含量及矿化量的研究。这两种方法可以有效防止无机氮如铵态氮、硝态氮等水溶性离子的淋溶。但树脂芯法成本较高,故本实验采用原位培养法中的顶盖埋管原位培养法进行研究。

在植物生长高峰期(8月中旬)研究样地各处理实验区内随机选取5个1.0 m×1.0 m的样方分别调查样方内的植物种类、自然高度(每个样方内随机选取5株植物,测定其自然高度取平均值)、密度、采用收获法测量植物群落的地上生物量。植物群落物种多样性以多样性指数和均匀性指数表征。

土壤样品　选取3块实验样地,分别为1号切根处理、2号浅耕翻处理、3号对照,在各块实验地上分别均匀布置2个4 m×4 m的样方,将两组6个长10 cm,直径8 cm的PVC塑料管打入到每个样地中的两点并取两个土柱样品,每个样方内各取一个土柱,带回实验室内进行室内初始硝态氮的含量测定,另一个PVC管上端用塑料布封住,顶端扎出10余个小孔以便于管内土壤与外界保持良好的通气状态,底部用纱布封住,重新填入取土原地以模拟自然环境的土壤中氮元素的矿化速率,30天后将土柱取出,带回实验室进行培养后硝态氮的含量测定。

土壤预处理　土壤中硝态氮的测定需先对土壤进行预处理。首先把取好的土样推开放到通气状况良好的地方使其自然风干,然后把自然风干后的土去除大块杂质后通过孔径为2 mm的筛网过筛。

土壤全氮的测定　半微量凯氏定氮法[8]。

土壤硝态氮的测定　紫外分光光度法(紫外可见分光光度计U3900)[9]。

植物样品:取回后用电子天平(精度0.01 g)称取其植物鲜重,之后在烘箱内65°C恒温下烘至恒重后,再次称量植物干重。

1.3.1　硝态氮矿化速率

土壤硝态氮矿化速率=(培养后硝态氮含量-培养前硝态氮含量)/培养时间

1.3.2　多样性指数

Shannon-wiener信息多样性指数

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

式中,P_i为种i的概率。

1.4.3　均匀性指数

$$E = H/\ln S$$

式中,H 为 Shannon-wiener 指数;S 为植物物种丰富度。

1.4　数据分析

运用 SPSS 统计软件进行方差分析。

2　实验结果与分析

2.1　不同改良措施对土壤硝化速率的影响

不同改良措施(切根、浅耕翻等)、时间(月份)及其二者的交互作用对土壤硝态氮矿化速率影响极为显著($P<0.05$)(表 1)。不同改良措施对土壤硝化速率的影响表现在:浅耕翻处理显著降低了土壤硝化速率($P<0.05$),而切根处理提高了土壤硝化速率,但效果不显著($P<0.05$)。

表 1　不同改良措施和时间对土壤硝态氮矿化速率的影响

Table 1　The impact of different treatments to nitrate nitrogen mineralization rate in different months

变异来源 Source	*df*	*F*	*P*
处理 Treatment	3	88.34	0.000
时间 Time	2	28.82	0.000
处理×时间 Treatments and Time	6	4.44	0.001

时间对土壤硝化速率的影响显著,具体表现在 6 月土壤硝化速率显著高于 7 月、8 月和 9 月($P<0.05$),而 9 月土壤硝化速率显著低于 6 月、7 月和 8 月,7 月和 8 月的土壤硝化速率差异不显著(图 1)。这种差异可能与 6 月降雨量最高(1306 mm)和 9 月降雨量最低有关(147 mm)。

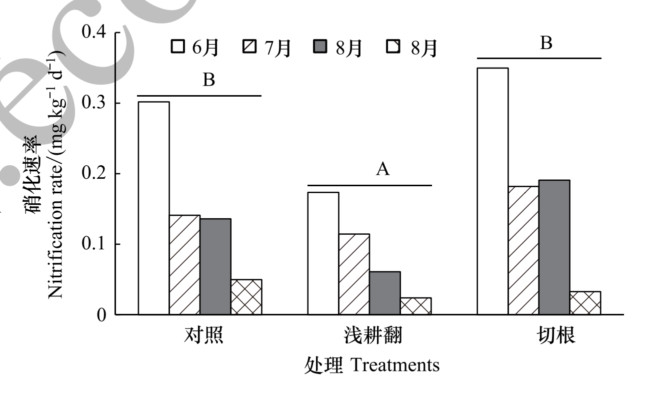


图 1　不同改良处理硝态氮矿化速率

Fig. 1　Different treatments of the improved nitrate nitrogen mineralization rate

2.2　不同改良措施对草地物种多样性的影响

根据表 2 可以看出,不同处理下群落物种丰富度指数(S)、群落的多样性指数(H)和群落均匀性指数(E)均表现为切根>CK>浅耕翻处理,其中浅耕翻样地物种丰富度、多样性指数及均匀性指数均显著低于对照及切根($P<0.05$),切根处理群落多样性指数显著高于对照及浅耕翻处理($P<0.05$),其它措施间差异不显著。结果表明一年内浅耕翻处理后可显著降低群落物种丰富度、多样性指数及均匀性指数,而切根处理则较对照有所增加。

表 2　不同处理措施植物群落物种多样性的比较

Table 2　Comparisons of species diversity between treatments

处理 Treatments	丰富度指数(S) The index of richness	群落多样性指数(H) Shannon-Wiener index	群落均匀性指数(E) Evenness index
对照 Control	6.75±0.50 a	0.97±0.06 b	0.51±0.03 a
浅耕翻 Shallow-ploughing	3.25±0.96 b	0.14±0.02 c	0.10±0.01 b
切根 Root-pruning	7.00±1.41 a	1.19±0.08 a	0.57±0.15 a

同列不同字母表示数据间差异显著($P<0.05$)

2.3 不同改良措施对羊草种群生物量的影响

不同处理措施对羊草群落的生物量也造成了一定的影响。在一年内浅耕翻处理对于生物量的影响最大,显著减少了退化羊草群落的生物量($P<0.05$),切根处理提高了羊草群落的生物量,但与对照的差异不显著(图2)。

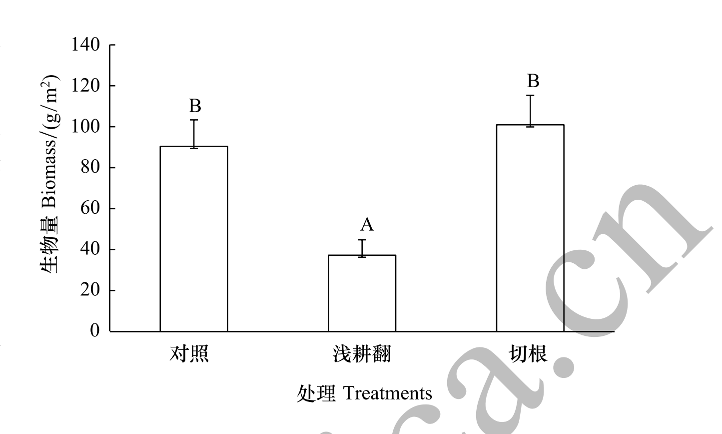


图2 不同改良措施之间草地羊草种群生物量

Fig.2 The biomass of *Leymus Chinensis* community by Different treatments

3 讨论与展望

土壤供氮能力的强弱是土壤肥力的重要衡量指标之一,也是土壤理化性质的重要评价参数。目前,以氮矿化速率为指标反映土壤供氮能力的研究很少。赵宁等研究表明,放牧会显著提高土壤氮素的矿化敏感性,且放牧所致的草地退化越严重,土壤氮素矿化的敏感性就越高[10]。曹自成等研究证明羊草产量与根茎中氮元素含量有着显著的正相关关系[11]。Abbasi M K 等利用^{15}N同位素标记技术研究了不同土层深度氮素矿化速率的影响[12]。以上研究都未将改良措施应用于氮素的矿化,因此不同改良措施对于土壤硝态氮的矿化以及土壤供氮能力的提升效果并不明确。本研究结果表明,不同改良措施对于土壤氮素的影响程度不同且不同月份氮素含量差异较大。切根处理短期内加快了土壤中硝态氮的矿化速率,但差异不显著;浅耕翻处理在短期内显著降低了土壤中硝态氮的含量及矿化速率。这可能是由于浅耕翻处理侧重于对土壤的物理改变并极大地改变了土壤结构以及植被直接生存的环境,在短期内对植被的干扰较大。切根处理相对浅耕翻处理对土壤物理性质的改变较小,且增大了土壤孔隙,更适于微生物活动进而提高了硝态氮的矿化速率。

草地生产力和群落结构是研究草地生态系统最重要的生态学指标,生产力的高低和群落结构是否稳定是判断草地生态系统演替阶段和退化程度的依据。生物量能够有效地反映草地生态系统的生产力,草地群落物种数量、多样性以及均匀程度能够体现草地群落结构,因此本文采取生物量、物种丰富度、群落多样性指数和群落丰富度指标等作为评价草地现状的研究指标。对于退化羊草草地的群落结构以及群落生物量而言,宝音陶格涛等研究表明,浅耕翻处理会随着年限的增加逐渐提升羊草的种群优势度并使其逐步复壮,成为建群种,使草地逐渐恢复。本研究结果表明,浅耕翻处理在短期内会显著降低群落的生物量,而切根处理在短期内使群落生物量有所增加。这与前人研究差异较大,主要是由于本研究更侧重于短时间尺度下不同改良措施对退化草地的改良效果。浅耕翻初期(特别是第一、第二年)土壤性质的巨大改变不仅能使羊草等多年生草本植物无法生存,甚至使一、二年生杂草植物也受到巨大胁迫,但一定时间后,浅耕翻处理使得土壤结构更为疏松,微生物生长繁殖更为活跃进而向更有利于植物生长的土壤团聚体结构发展,最终使得草地恢复。杨波等研究表明,相对改良前,在浅耕翻处理两年后,土壤结构才更适宜植被生长[13]。因此,对于退化草地的恢复,浅耕翻处理的效果无法在短期内得到较好的显示。产生如此结果的另外的原因还与本次浅耕翻采用了与以往研究不一样的处理方式即在浅耕翻的次年再进行一次耙地处理,以便控制杂草,这样相对以往的浅耕翻改良的当年进行耙地,延缓了羊草的恢复。乌云其其格等研究表明,切根处理与羊草的自我复壮有明显的相关关系,即适度切根会使得羊草群落生物量增加,优势种比例上升,有助于羊草草原恢复[14],与本研究结果一致,但本研究更侧重于退化草地全部植物群落生物量的研究,而非仅羊草生物量。因此,本实验更有利于研究退化草地的整体恢复状况。

退化羊草群落生物多样性的提高是草地生态系统恢复过程的重要指示特征,也是研究草地植被演替的重要表现因素之一。Schmid 等研究表明,生态系统群落生物多样性与生产力和生物量呈正相关关系[15]。本研究结果表明,切根处理显著提高了群落的生物多样性,这可能是由于切根处理降低了一年生等短命植物与其

他植物的竞争,使得一、二年生植物迅速在返青季生长、繁殖,最终提高了生物多样性。浅耕翻处理降低生物多样性的可能是由于改变土壤理化性质使得大多数植物无法生存所致[16]。除此之外,除此之外,在草原区受中度干扰的群落多样性最高,中度和重度退化草地群落多样性会很低,就本研究而言,改良是在重度退化的草地上进行的,因此,干扰较小的切根改良会促进群落多样性恢复,而扰动强烈的浅耕翻处理会降低群落生物多样性。就生物多样性与生物量的关系来看,生物多样性与生物量呈现正相关关系,与前人研究结果一致。切根处理能在一到两年内对退化草地生物多样性恢复快速响应。就退化羊草群落生物多样性而言,切根处理是退化草地恢复较好的改良措施。

对于退化草地的恢复措施,目前主要有围栏封育,浅耕翻,切根,补播,施肥,锄毒草等方式[17]。围栏封育的年限较长,一般 3a 会出现显著变化,但恢复到较高生产力的草原植被群落则需要至少 10 年以上的时间。施肥能改善土壤营养状况,但大面积施肥存在诸多弊端如影响地下水水质等。补播是根据现有土壤状况,在退化草地上播种适宜的禾本科牧草以达到改良的目的。一般而言,改良措施都是针对群落生产力恢复而进行的,但不同时间尺度下群落生产力、退化草地整体恢复效应以及生态响应会有所不同。长时间尺度下退化草地整体恢复效果较好,但在短期内,适度干扰下的改良措施能有效提高群落生产力及生物多样性。因此,评判改良措施的优劣应以恢复目的以及时间尺度为依据。本实验研究表明,浅耕翻处理在退化草地恢复初期显著降低了硝态氮矿化速率、生物多样性以及生物量,而切根处理在短期内(特别是处理的第一、第二年)对于土壤供氮能力以及群落生物多样性的提升有显著效果。因此,切根处理适用于需要在短期内迅速提高草地供氮能力、生物多样性及生产力地区的改良,而浅耕翻处理则不适用于退化草地的短期改良,应在不同的草地用途和恢复阶段有针对性地采取不同的草地改良措施。目前,对于不同改良措施之间交互作用的研究较少,要想系统并较为完整地研究退化草地的恢复问题,还必须考虑土壤微生物与植物对土壤养分的竞争关系、不同物种组成对养分的利用程度、不同退化草地土壤理化性质等多方面交互作用的影响。

参考文献(References):

[1] 宝音贺希格, 高福光, 姚继明, 张利枝. 内蒙古退化草地的不同改良措施. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(3): 38-41.

[2] 宝音陶格涛, 成格尔, 张丽云. 退化羊草草原浅耕翻处理植物群落恢复演替的研究. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1999, 30(3): 354-359.

[3] 张耀生, 赵新全, 黄德清. 青藏高寒牧区多年生人工草地持续利用的研究. 草业学报, 2003, 12(3): 22-27.

[4] 周祖澄, 王洪玉, 蔡元定, 金振玉, 杨金. 吉林省主要旱田土壤有效氮测定方法探讨. 土壤通报, 1981, (6): 23-26.

[5] 潘庆民, 白永飞, 韩兴国, 杨景成. 氮素对内蒙古典型草原羊草种群的影响. 植物生态学报, 2005, 29(2): 311-317.

[6] Pathak H, Rao D L N. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(6): 695-702.

[7] 李生秀. 关于土壤供氮指标的研究 Ⅰ. 对几种测定土壤供氮能力方法的评价. 土壤学报, 1990, 27(3): 233-240.

[8] 宝音陶格涛, 王静. 退化羊草草原在浅耕翻处理后植物多样性动态研究. 中国沙漠, 2006, 26(2): 232-237.

[9] 李玉中, 祝廷成, Redmann R E. 三种利用类型羊草草地氮总矿化、硝化和无机氮消耗速率的比较研究. 生态学报, 2002, 22(5): 668-673.

[10] 赵宁, 张洪轩, 王若梦, 杨满业, 张艳, 赵小宁, 于贵瑞, 何念鹏. 放牧对若尔盖高寒草甸土壤氮矿化及其温度敏感性的影响. 生态学报, 2014, 34(15): 4234-4241.

[11] 曹自成, 易津. 羊草中氮磷及可溶性糖类年变化状况的初步研究. 中国草原, 1983, (3): 31-36.

[12] Abbasi M K, Zahir Shah, Adams W A. Mineralization and nitrification potentials of grassland soil at shallow depth during laboratory incubation. Journal Plant Nutrient and Soil Sciences. 2001, 164(5): 497-502.

[13] 杨波, 宝音陶格涛. 退化羊草草原轻耙处理后 30 年植物群落恢复演替规律研究. 中国草地学报, 2014, 36(2): 36-42.

[14] 乌仁其其格, 闫瑞瑞, 辛小平等. 切根改良对退化草地羊草群落的影响. 内蒙古农业大学学报, 2011, 32(4): 55-58.

[15] Schmid B, Joshi J, Schlapfer F. Empirical evidence for biodiversity-ecosystem functioning relationships//Kinzig A P, Pacala S W, Tilman D, eds. The Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress and Theoretical Extensions. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2002.

[16] 宝音陶格涛, 刘美玲. 退化羊草草原在浅耕翻处理后植物群落生物量组成动态研究. 自然资源学报, 2003, 18(5): 544-551.

[17] 杨丽娜, 宝音陶格涛. 不同改良措施下羊草群落生物量的研究. 中国草地学报, 2010, 32(1): 86-91.